

УДК 004.051

doi:10.20998/2413-4295.2020.02.09

**КВАЗИСТЕРЕОСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ
ДЛЯ СЛЕПЫХ НА БАЗЕ RASPBERRY PI 3 И STM8L****В. Л. КОСТЕНКО^{1*}, С. Б. КОНДРАТЬЕВ², М. В. ЯДРОВА³, Д. Е. СТЕЛЬМАХ³**¹ кафедра металлорежущих станков, метрологии и сертификации, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, УКРАИНА² кафедра проектного обучения в информационных технологиях, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, УКРАИНА³ кафедра информационных систем, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, УКРАИНА

*e-mail: kvl777@ukr.net

АННОТАЦИЯ Разработана квазистереоскопическая система обнаружения препятствий для слепых с повышенной информативностью. Повышение информативности осуществляется за счет применения одноплатного компьютера Raspberry Pi 3 и микроконтроллера STM8L. Подсистема панорамного ультразвукового обнаружения позволяет определять наличие препятствий и их удаленность по частоте следования звукового сигнала, а подсистема создания тактильного рельефа – по интенсивности тактильной информации. В устройстве предусмотрена возможность коммутации подсистем с источником питания в соответствии с режимом обнаружения препятствий. С помощью кнопки подачи питания осуществляется отключение подсистемы создания тактильного рельефа, ток потребления которой не менее 500 мА, с сохранением работы подсистемы ультразвукового обнаружения препятствий, ток потребления которой не более 20 мА, при этом обеспечивается экономия заряда элемента автономного питания, продление срока его работы без подзарядки. Приведены результаты разработки программной модели – алгоритм работы системы, код программы построения кадра с картой глубин в реальном времени, код программы работы вибромоторов, модульные тесты для тестирования программного кода подсистемы создания тактильного рельефа. На основе данных исследований был собран и испытан макет устройства. После определенного цикла тренировок, слабовидящий человек приобретает способность к лучшей ориентации в пространстве. Автономность системы обеспечивается экономным энергопотреблением за счет применения разработанного алгоритма работы системы и современной энергоэффективной аппаратной части.

Ключевые слова: видеочамера; Raspberry Pi; ШИМ контроллер; вибромотор; ультразвуковой датчик; карта глубин

**QUASISTEREOSCOPIC OBSTACLE DETECTION SYSTEM FOR THE BLIND ON THE
BASIS RASPBERRY PI 3 AND STM8L****V. KOSTENKO¹, S. KONDRATYEV², M. YADROVA³, D. STELMAKH³**¹ Department of Metal-cutting machines Metrology and Certification, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE² Department of Project Training in Information Technology, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE³ Department of Information Systems, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT Quasi-stereoscopic obstacle detection system for blind people with increased information content has been developed. Increasing information content is carried out through the use of a single-board computer Raspberry Pi 3 and STM8L microcontroller. The subsystem of panoramic ultrasonic detection allows you to determine the presence of obstacles and their remoteness by the frequency pulses of the sound signal, and the subsystem of creating a tactile relief – by the intensity of tactile information. The device provides the ability to switch subsystems with a power source in accordance with the obstacle detection mode. Using the power supply button, the tactile relief subsystem is turned off, the consumption current of which is not less than 500 mA, while the operation of the ultrasonic obstacle detection subsystem, the consumption current of which is not more than 20 mA, is saved, while the charge of the autonomous power element is saved, and its life is extended without recharge. The results of developing a program model are presented – the system operation algorithm, the program for constructing a frame with a real-time depth map, the code for the vibration motor program, unit tests for testing the program code of the tactile relief subsystem. Based on the research data, a mock device was assembled and tested. After a certain training cycle, a visually impaired person acquires the ability to better orientate in space. The autonomy of the system is ensured by economical energy consumption through the application of the developed algorithm of the system and modern energy-efficient hardware.

Keywords: videocamera; Raspberry Pi; PWM controller; vibration motor; ultrasonic sensor; depth map

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно количество слепых в мире увеличивается на 1 млн. человек. По данным специалистов, на земле больше 270 млн. человек с серьезными проблемами со зрением. При этом ежегодно в Украине количество инвалидов

вследствие недостатков зрения возрастает на 12 тыс. человек [1]. Современные технологии проникли во все сферы человеческой жизни и активно используются для улучшения качества жизни слабовидящих людей. Большая часть успехов связана с переключением потока информации на другой канал – слуховой или тактильный. Технологии получения

информации об окружающем пространстве предоставляют людям со слабым зрением и людям с поражением зрительной системы дополнительные возможности ориентации в окружающей среде. Разработка электронных технических средств пространственного ориентирования для слабовидящих людей имеет уже полувековую историю и продолжает оставаться актуальной.

Для реабилитации людей с нарушениями зрения большое внимание уделяется созданию сенсорных вспомогательных устройств [2].

Среди известных электронных устройств обнаружения препятствий для слепых наиболее широко представлены приборы, использующие ультразвуковые и оптические датчики с тактильными и слуховыми каналами передачи информации человеку, что связано с технологичностью их изготовления, функциональными возможностями и автономностью [3,4].

Так, например, для обеспечения стереоскопического эффекта и локализации препятствия, в [5] исследовалась возможность обнаружения препятствий с помощью видеокамер, расположенных на левом и правом плечах человека. Однако такая система не обеспечивает воспроизводимость информации за счет того, что во время движения относительное положение стереокамер изменяется, что приводит к погрешностям в построении стереоизображения. Алгоритм и вычисление расстояния до наблюдаемого объекта по изображениям стереопары в системе компьютерного зрения на основе двух USB камер приведены в [6,7]. Для исключения влияния положения видеокамер, в работе [8] рассматривались система стереозрения, основанная на методе зеркального разделения изображений с видеокамеры. Однако, такие системы достаточно громоздки и чувствительны к механическим воздействиям, а также имеют большие погрешности в определении расстояния до препятствия, что ограничивает их использование на практике.

Решение проблемы может заключаться в дополнении информации, получаемой от системы видеокамер, информацией от других источников, например, ультразвуковых датчиков [9]. К таким устройствам может быть отнесена разработанная нами ранее автономная система панорамного ультразвукового обнаружения, включающая три ультразвуковых датчика *HC-SR04*, микроконтроллер *STM8L*, звуковые излучатели *Piezo Buzzer 17855* [10]. Система позволяет обеспечить панорамность «зрения» за счет расширения угла обзора и определять наличие препятствий прямо перед человеком, а также слева и справа от него в диапазоне расстояний от 0,02 до 3 м в пределах диаграммы направленности ультразвуковых датчиков. В то же время, в процессе эксплуатации системы, был выявлен такой ее недостаток, как недостаточная информативность, затрудняющая человеку с

дефектом зрения уверенно ориентироваться на местности.

Вместе с тем, одновременное использование стереозрения и ультразвуковых датчиков расстояния вызывает повышение нагрузки на каналы восприятия информации человеком, что вызывает необходимость применения специальных алгоритмов работы каналов восприятия информации. В литературе описаны различные варианты использования каналов поступления информации, в том числе от разных источников [11,12].

Однако, обработка информации от разных источников, например, видеокамер, ультразвукового сонара, применение вибромоторов, требует достаточно энергоемкого компьютера, а, следовательно, сравнительно мощного источника питания устройства, что ограничивает его автономность.

Поэтому актуальным является поиск и применение доступных, энергоэффективных микровычислительных средств и их оптимальное комбинирование для реализации автономной и надежной системы обнаружения препятствий [13]. Такой подход обеспечен тем, что, на сегодняшний день, существует большая номенклатура микрокомпьютеров, микроконтроллеров и немало multifunctional платформ, которые могут использоваться для разработки приложений, обеспечивающих перемещение слабовидящих людей.

Цель и задачи работы

Целью данной работы являются исследование и разработка квазистереоскопической системы обнаружения препятствий для слепых на базе *RASPBERRY PI 3* и *STM8L*, преимуществами которой является повышенная информативность, автономность и функциональность, путем обеспечения взаимодополняющих методов восприятия информации.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- разработка структуры системы с учетом возможности экономии заряда автономного элемента питания;
- разработка аппаратной части системы квазистереоскопического обнаружения препятствий для слепых на современной элементной базе;
- разработка алгоритма работы и программной части системы;
- тестирование программной части и макета системы.

Изложение основного материала

Разработка аппаратной части квазистереоскопической системы обнаружения препятствий для слепых

С учетом проведенных исследований была разработана структурная схема квазистереоскопической системы обнаружения препятствий для слепых, которая включает две подсистемы: подсистему панорамного ультразвукового обнаружения [14] и подсистему

создания квазистереоскопического тактильного рельефа. Особенностью устройства является возможность коммутации подсистем с автономным источником питания в соответствии с режимом обнаружения препятствий (рис. 1).

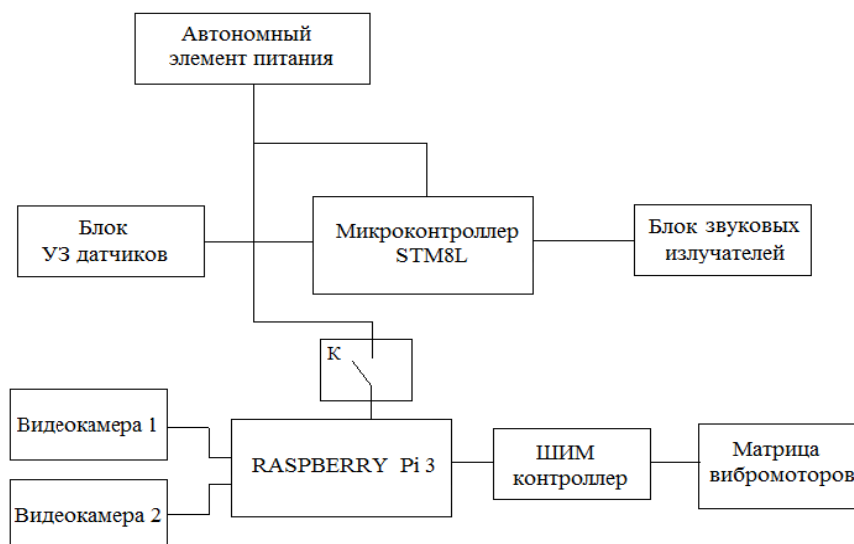


Рис. 1 – Структурная схема квазистереоскопической системы обнаружения препятствий для слепых:
К – кнопка подачи питания

Подсистема панорамного ультразвукового обнаружения включает блок ультразвуковых датчиков (три ультразвуковых датчика *HC-SR04*), микроконтроллер *STM8L*, блок звуковых излучателей (три элемента *Piezo Buzzer 17855*). Устройство позволяет определять наличие препятствий прямо перед человеком, а также слева и справа от него в диапазоне расстояний от 0,02 до 3 м в пределах диаграммы направленности ультразвуковых датчиков. Удаленность объекта можно определять на слух по частоте следования звукового сигнала.

Подсистема создания квазистереоскопического тактильного рельефа включает две видеоканеры, микрокомпьютер *Raspberry Pi 3*, ШИМ контроллер, матрицу из 25 вибромоторов. Система запитывается от автономного элемента питания [15].

В качестве микрокомпьютера был выбран одноплатный компьютер *Raspberry Pi 3* с учетом таких важных преимуществ, как цена (около 35 \$), легкая доступность на рынке, возможность разработки приложений, высокая производительность (64-битный процессор с частотой 1,2 ГГц, частота *GPU VideoCore 400* МГц, частота работы ОЗУ 900 МГц), 40 контактов ввода/вывода общего назначения (*GPIO*), интегрированный модуль *Wi-Fi*, поддерживает *Bluetooth 4.1*, имеет 5-и вольтовый разъем питания [16,17].

Из анализа соотношения цены, энергопотребления и функциональных возможностей, для стереопары были выбраны *Raspberry Pi* видеоканеры, 8 Мп, 1080 п/720 п, со следующими параметрами: напряжение питания 5 В, ток

потребления в режиме тишины 2 мА, ток потребления в рабочем режиме 15 мА, рабочий диапазон обнаружения 0,2–4 м, рабочий угол наблюдения 30°.

Расстояние до препятствия кодируется уровнем вибрации вибромоторов, чем уровень вибрации выше, тем препятствие ближе. Для обеспечения высокого КПД преобразования, сигналы на матрицу вибромоторов поступают с выходов широтно-импульсных модуляторов (ШИМ).

ШИМ контроллер представляет собой две платы *PCA9685* для подключения вибромоторов, с учетом того, что к одной плате можно подключить не более 16 вибромоторов. *PCA9685* – это 16-канальный 12-битный ШИМ/Серво модуль с *I2C* интерфейсом для управления сервоприводами [18].

Учитывая требования по весо-габаритным показателям, энергопотреблению, в качестве тактильных раздражителей были выбраны микровибромоторы типа *4X8MM*.

С помощью кнопки подачи питания К осуществляется отключение подсистемы создания тактильного рельефа, ток потребления которой не менее 500 мА [17], с сохранением работы подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения, ток потребления которой не более 20 мА [14]. При этом обеспечивается экономия заряда элемента автономного питания, продление срока его работы без подзарядки, с сохранением потока панорамной информации от ультразвукового сонара.

По разработанной структурной схеме был реализован макет системы (рис. 2).

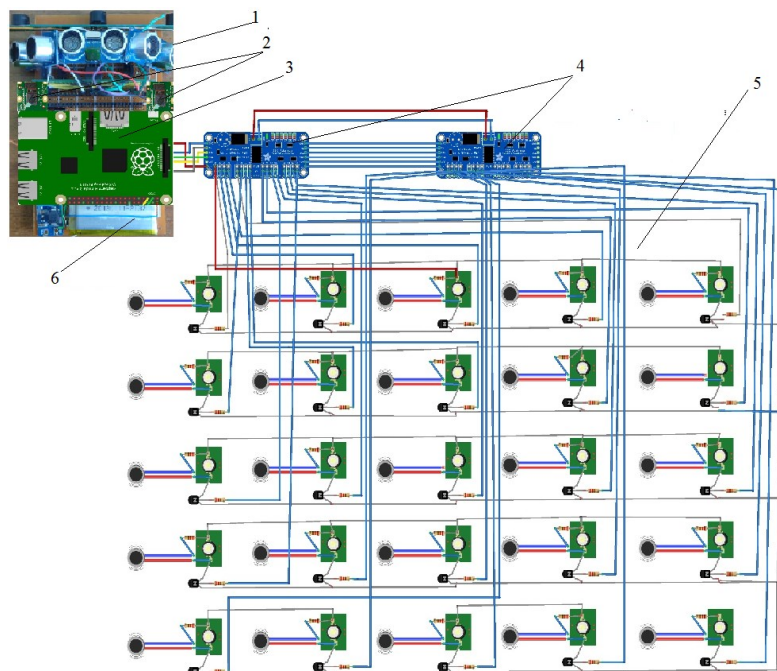


Рис. 2 – Макет системы обнаружения препятствий для слепых на основе Raspberry Pi 3 и STM8L: 1 – плата с STM8L и тремя ультразвуковыми датчиками, 2 – видеокамеры Raspberry Pi, 3 – плата Raspberry Pi 3, 4 – платы ШИМ контроллера, 5 – матрица вибромоторов, 6 – элемент питания

Каждый вибромотор (рис. 2) потребляет до 30 мА, для уменьшения потребления тока вся матрица 5*5 вибромоторов не возбуждается одновременно, а вибрационная картина создается волнами в виде 5-ти вертикальных столбцов, когда одновременно работает только один столбец. Столбцы переключаются слева направо. Один столбец, для четкого чувствования вибрации, вибрирует около 0,1 с., цикл волны примерно 0,5 с., поэтому одновременно работают не 25, а 5 вибромоторов, их ток потребления при этом не превышает $30 \times 5 = 150$ мА.

Плата с Raspberry Pi 3 и STM8L, тремя ультразвуковыми датчиками, видеокамерами, платами ШИМ контроллера и аккумулятором расположена на груди незрячего человека, а матрица вибромоторов, создающих виброрельеф, расположена на специальном жилете в области спины.

Разработка программной части системы

Алгоритм работы квазистереоскопической системы обнаружения препятствий для слепых приведен на рис. 3.

Согласно алгоритму, можно выделить три основных этапа работы с системой:

1) получение текущей информации от подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения препятствий;

2) получение разовой информации от подсистемы создания квазистереоскопического тактильного рельефа на основе стереопары;

3) принятие решения о наличии и общем характере препятствий по анализу совместного воздействия звукового и тактильного каналов информации.

Наличие кнопки «сон» позволяет в ручном режиме отключать более энергоемкую подсистему создания тактильного рельефа с целью снижения энергопотребления и повышения автономности всей системы.

Программная часть подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения препятствий реализована на языке C [14], а подсистемы создания тактильного рельефа – на языке Python. Она содержит следующие программные пакеты:

- пакет *ImageFTC* включает в себя классы, описывающие настройки камер и работу с видеопотоком;

- пакет *DepthMap* включает в себя классы, отвечающие за построение и преобразование карты глубин;

- пакет *Procedding* включает классы, отвечающие за обнаружение препятствий;

- пакет *Result* отвечает за вывод результата пользователю.

Алгоритм построения карты глубин с помощью библиотеки *StereoBM* [19] приведен на рис. 4.

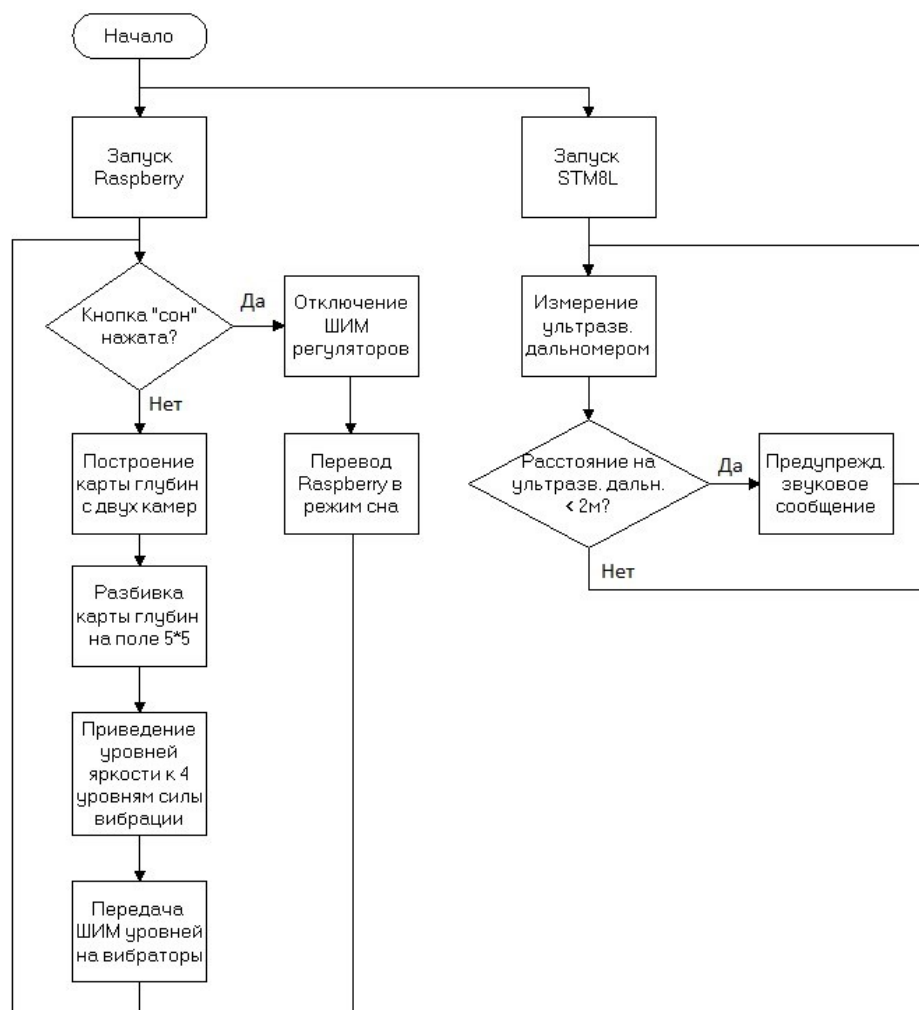


Рис. 3 – Алгоритм работы квазистереоскопической системы обнаружения препятствий для слепых

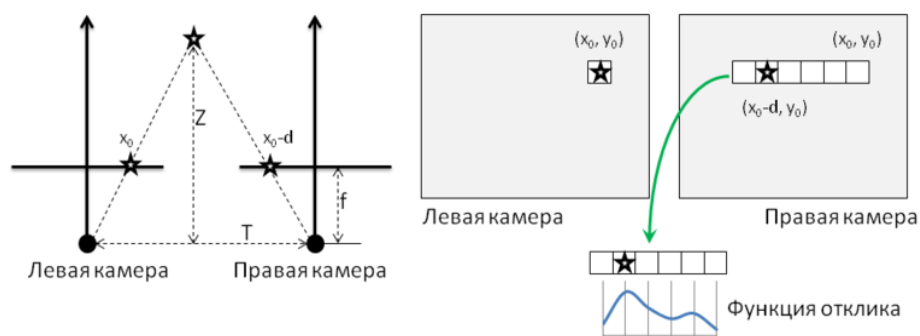


Рис. 4 – Алгоритм построения карты глубин

На входе есть два изображения одной и той же сцены, полученные с камер, находящихся рядом друг с другом, оси которых параллельны (рис. 4). Объекты, находящиеся на дальнем плане, будут на левом и правом изображении находиться практически на одном и том же месте. Изображения более близких объектов будут отличаться – на левом изображении такие объекты находятся правее, а на правом – левее.

Чем ближе объект к камере, тем сильнее будет отличаться его изображение на левом и правом

кадрах. Алгоритм *StereoBM* определяет, насколько изображение объекта смещено на левой и правой картинке. Расстояние смещения называется *disparity*. Чем больше это значение, тем ближе объект к камере.

Функция *StereoBM* берет левую картинку и начинает построчно ее анализировать. На каждой строке алгоритм берет точку или их набор и пытается найти похожий набор точек на этой же строке на правом изображении. После этого он считает,

насколько эти наборы точек смещены друг относительно друга.

Так как алгоритм ведет поиск только в очень маленьком блоке (всего несколько десятков пикселей), исходные расхождения между кадрами стереопары должны быть минимальными, поэтому необходима калибровка камер, (в том числе механическая), и ректификация изображений.

Калибровка камер стереопары с получением фокусных расстояний, построение карты глубин осуществлялась нами с помощью библиотечных функций *OpenCV* [20].

В процессе исследований, были разработаны семь модульных тестов для тестирования программного кода подсистемы создания тактильного рельефа.

Пример теста приведен на рис. 5.

```
class TestClass:
    def test_arraytof(arr):
        all((arr[:, :, x].T == arr[:, :, x]).all() for x in range(arr.shape[2]))
        (arr.transpose(1, 0, 2) == arr).all()
    def test_tot(p, q):
        R = np.empty((p.shape[0], q.shape[1]))
        for i in range(p.shape[0]):
            for j in range(q.shape[1]):
                rx = p[i, 0] - q[0, j]
                ry = p[i, 1] - q[1, j]
                rz = p[i, 2] - q[2, j]
                R[i, j] = 1 / (1 + math.sqrt(rx * rx + ry * ry + rz * rz))
        return R
```

Рис. 5 – Тестирование программного кода подсистемы создания тактильного рельефа

После калибровки на вход функции *StereoBM* подаются два изображения и два параметра – *numDisparities* и *blockSize* (рис. 6). Первый параметр *numDisparities* указывает, насколько "далеко" алгоритм должен просмотреть строчку правой

картинки в поисках нужного ему фрагмента. Если указать *numDisparities* = 10, то это будет означать, что алгоритм будет "заглядывать" правее на 10 точек. Параметр *blockSize* – это размер блока точек (пятно), в которое алгоритм будет искать корреляцию.

```
disparity = np.zeros((img_width, img_height), np.uint8)
sbm = cv2.StereoBM_create(numDisparities=10, blockSize=21)
```

```
def stereo_depth_map(rectified_pair):
    dmLeft = rectified_pair[0]
    dmRight = rectified_pair[1]
    disparity = sbm.compute(dmLeft, dmRight)
    local_max = disparity.max()
    local_min = disparity.min()
    disparity_grayscale = (disparity - local_min) * (65535.0 / (local_max - local_min))
    disparity_fixtype = cv2.convertScaleAbs(disparity_grayscale, alpha=(255.0 / 65535.0))
    disparity_color = cv2.applyColorMap(disparity_fixtype, cv2.COLORMAP_JET)
    cv2.imshow("Image", disparity_color)
    key = cv2.waitKey(1) & 0xFF
    if key == ord("q"):
        quit()
    return disparity_color
```

Рис. 6 – Инициализация библиотек (*StereoBM*) карты глубин и построение карты смещений

Для визуализации тактильного рельефа в процессе испытаний системы приведен основной цикл программы построения кадра с картой глубин в реальном времени (рис. 7).

Карта глубин строится на основе карты смещений *disparity = stereo_depth_map(rectified_pair)*. Чем больше смещение, тем ближе объект и тем выше его яркость.

```

# capture frames from the camera
for frame in camera.capture_continuous(capture, format="bgra", use_video_port=True,
resize=(img_width,img_height)):
    t1 = datetime.now()
    pair_img = cv2.cvtColor (frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    imgLeft = pair_img [0:img_height,0:int(img_width/2)] #Y+H and X+W
    imgRight = pair_img [0:img_height,int(img_width/2):img_width] #Y+H and X+W
    rectified_pair = calibration.rectify((imgLeft, imgRight))
    disparity = stereo_depth_map(rectified_pair)
    # show the frame
    cv2.imshow("left", imgLeft)
    cv2.imshow("right", imgRight)
    t2 = datetime.now()
    print ("DM build time: " + str(t2-t1))

```

Рис. 7 – Код программы построения кадра с картой глубин в реальном времени

После получения карты глубин необходимо отправить информацию с этой карты на матрицу вибромоторов. Код программы, обеспечивающей работу матрицы вибромоторов для реализации тактильного рельефа, приведен на рис. 8.

Итоговая картинка карты глубин имеет разрешение всего 5*5 точек и, по сути, представляет собой массив из 25 переменных *pulse1–pulse25*. Каждая переменная несет информацию о яркости

(близости) до точки препятствия. Значение этой переменной передается в ШИМ контроллер, вызывая вибрацию вибромоторов пропорционально близости до препятствия. Чем ближе препятствие, тем интенсивнее вибрация.

Результат работы программы построения кадра с картой глубин в реальном времени приведен на рис. 9.

```

#Подключение библиотек
import time #Библиотека для работы с таймерами
import smbus #Библиотека для работы с шиной I2C
import PCA9685 #Библиотека для работы с 16 канальной платой ШИМ
import ServoPCA9685

i2cBus = smbus.SMBus(0)
pca9685 = PCA9685.PCA9685(i2cBus)
vibro_motor_00 = ServoPCA9685.ServoPCA9685(pca9685, PCA9685.CHANNEL00)
vibro_motor_01 = ServoPCA9685.ServoPCA9685(pca9685, PCA9685.CHANNEL01)
vibro_motor_02 = ServoPCA9685.ServoPCA9685(pca9685, PCA9685.CHANNEL02)
vibro_motor_03 = ServoPCA9685.ServoPCA9685(pca9685, PCA9685.CHANNEL03)
vibro_motor_04 = ServoPCA9685.ServoPCA9685(pca9685, PCA9685.CHANNEL04)
# Загрузка скважности ШИМ в переменных pulse1–5 для вибромоторов 1-го столбца
for pulse in range(ServoPCA9685.servo_min, ServoPCA9685.servo_max + 1):
    vibro_motor_00.set_pulse(pulse1) #Загрузка ШИМ в вибромотор 1
    vibro_motor_01.set_pulse(pulse2) #Загрузка ШИМ в вибромотор 2
    vibro_motor_02.set_pulse(pulse3) #Загрузка ШИМ в вибромотор 3
    vibro_motor_03.set_pulse(pulse4) #Загрузка ШИМ в вибромотор 4
    vibro_motor_04.set_pulse(pulse5) #Загрузка ШИМ в вибромотор 5
    time.sleep(0.3) #Пауза 0.3 секунды для работы вибромоторов

# Отключение вибромоторов 1-го столбца
vibro_motor_00.disable()
vibro_motor_01.disable()
vibro_motor_02.disable()
vibro_motor_03.disable()
vibro_motor_04.disable()

```

Рис. 8 – Код программы работы вибромоторов 1-го столбца

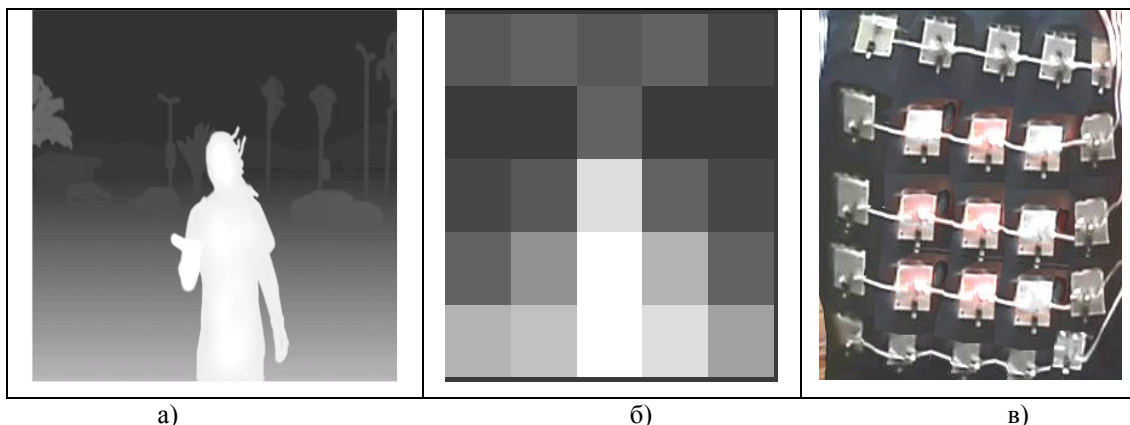


Рис. 9 – Результат работы программы построения кадра с картой глубин в реальном времени: а) кадр карты глубин, на котором более светлые объекты расположены ближе; б) разбивка карты глубин на поле 5*5; в) работа вибромоторов на спине человека, чем ближе объект, тем выше уровень вибрации

Результаты тестирования подтвердили соответствие программного кода общим требованиям к системе.

После тестирования системы проводилась калибровка вибромоторов, при этом к каждому вибромотору был подключен светодиод и вибродатчик, сигналы с которых дублируют и количественно характеризуют уровень сигналов подаваемых на вибромоторы, а также интенсивность вибрации.

Полученные данные позволили провести тренировку человека для приобретения навыков ориентации с помощью вибросигналов.

Анализ результатов исследования

Разработана система квазистереоскопического обнаружения препятствий для слепых с повышенной информативностью, которая состоит из двух подсистем: подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения и подсистемы создания квазистереоскопического тактильного рельефа. Особенностью устройства является возможность коммутации подсистем с автономным источником питания в соответствии с режимом обнаружения препятствий.

Подсистема панорамного ультразвукового обнаружения включает блок ультразвуковых датчиков (три ультразвуковых датчика *HC-SR04*), микроконтроллер *STM8L*, блок звуковых излучателей (три элемента *Piezo Buzzer 17855*). Устройство позволяет определять наличие препятствий прямо перед человеком, а также слева и справа от него в диапазоне расстояний от 0,02 до 3 м в пределах диаграммы направленности ультразвуковых датчиков. Удаленность объекта можно определять на слух по частоте следования звукового сигнала.

Подсистема создания квазистереоскопического тактильного рельефа включает две видеокамеры, микрокомпьютер *Raspberry Pi 3*, ШИМ контроллер, матрицу из 25 вибромоторов.

Из анализа соотношения цены, энергопотребления и функциональных возможностей, для стереопары были выбраны *Raspberry Pi* видеокамеры, 8 Мп, 1080 п/720 п, со следующими параметрами: напряжение питания 5 В, ток потребления в режиме тишины 2 мА, ток потребления в рабочем режиме 15 мА, рабочий диапазон обнаружения 0,2–4 м, рабочий угол наблюдения 30°.

В качестве микрокомпьютера был выбран одноплатный компьютер *Raspberry Pi 3*, с учетом таких важных преимуществ для предлагаемой системы, как цена (около 35 \$), легкая доступность на рынке, возможность разработки приложений, высокая производительность (64-битный процессор с частотой 1,2 ГГц, частота *GPU VideoCore 400* МГц, частота работы ОЗУ 900 МГц), интегрированный модуль *Wi-Fi*, поддерживает *Bluetooth 4.1*.

Для обеспечения высокого КПД преобразования, сигналы на матрицу вибромоторов поступают с выходов широтно-импульсных модуляторов (ШИМ). ШИМ контроллер представляет собой две платы *PCA9685* для подключения вибромоторов. *PCA9685* – это 16-канальный 12-битный ШИМ/Серво модуль с *I2C* интерфейсом для управления сервоприводами.

С учетом требований по весо-габаритным показателям, энергопотреблению, в качестве тактильных раздражителей были выбраны микровибромоторы типа *4X8MM*.

С помощью кнопки подачи питания осуществляется отключение подсистемы создания тактильного рельефа, ток потребления которой не менее 500 мА [17], с сохранением работы подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения, ток потребления которой не более 20 мА [14]. Включать подсистему создания тактильного рельефа необходимо на время, достаточное для получения тактильной информации. При этом обеспечивается экономия заряда элемента автономного питания, продление срока его работы без подзарядки, с

сохранением потока панорамной информации от ультразвукового сонара.

Программная часть подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения препятствий реализована на языке *C*, а подсистемы создания тактильного рельефа – на языке *Python*.

Плата с *Raspberry Pi 3* и *STM8L*, тремя ультразвуковыми датчиками, видеокамерами, платами ШИМ контроллера и аккумулятором расположена на груди незрячего человека, а матрица вибромоторов, создающих виброрельеф, расположена на специальном жилете в области спины. Расстояние до препятствия кодируется уровнем вибрации вибромоторов, чем ближе объект, тем интенсивнее вибрация.

Фотография, иллюстрирующая работу системы и расположение матрицы вибромоторов на спине человека, приведена на рис. 9.

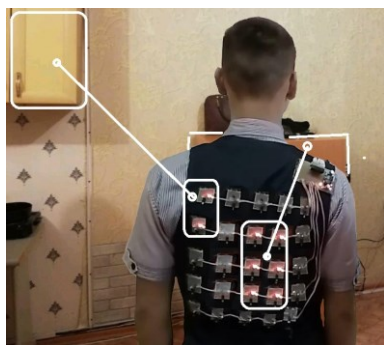


Рис. 9 – Иллюстрация работы квазистереоскопической системы обнаружения препятствий для слепых

На основе анализа результатов исследований установлено, что информативность системы повышается по сравнению с аналогами, при незначительном увеличении энергопотребления системы, которое может регулироваться самим пользователем.

Наличие двух подсистем, подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения и подсистемы создания квазистереоскопического тактильного рельефа, позволяет расширить информативность обнаружения, получать дополнительно к ультразвуковому панорамному, возможность квазистереоскопического обнаружения препятствий, т.е. возможность оценить не только наличие препятствия и расстояние до него, но и получить общую картину нахождения различных предметов в поле зрения системы. По звуковому каналу можно получить информацию о наличии препятствия и расстоянию до него, а по тактильной информации – общую квазистереоскопическую картину местности.

Выводы

Проведен анализ систем обнаружения препятствий для слепых.

Разработана система квазистереоскопического обнаружения препятствий для слепых с повышенной информативностью, которая состоит из двух подсистем: подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения и подсистемы создания квазистереоскопического тактильного рельефа. Повышение информативности обнаружения препятствий осуществляется за счет применения доступных, энергоэффективных микровычислительных средств, таких как одноплатный компьютер *Raspberry Pi 3* и микроконтроллер *STM8L*. Подсистема панорамного ультразвукового обнаружения позволяет определять наличие препятствий и их удаленность по частоте следования звукового сигнала, а подсистема создания квазистереоскопического тактильного рельефа – по интенсивности тактильной информации.

Особенностью устройства является возможность коммутации подсистем с автономным источником питания в соответствии с режимом обнаружения препятствий. С помощью кнопки подачи питания осуществляется отключение подсистемы создания тактильного рельефа на основе одноплатного компьютера *Raspberry Pi 3*, ток потребления которой не менее 500 мА, с сохранением работы подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения на основе микроконтроллера *STM8L*, ток потребления которой не более 20 мА. При этом обеспечивается экономия заряда элемента автономного питания, продление срока его работы без подзарядки.

Разработан алгоритм работы системы квазистереоскопического зрения, включающий алгоритмы работы подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения и подсистемы создания квазистереоскопического тактильного рельефа. Программная часть подсистемы панорамного ультразвукового обнаружения препятствий реализована на языке *C*, а подсистемы создания тактильного рельефа – на языке *Python*. Программная часть подсистемы создания квазистереоскопического тактильного рельефа базируется на четырех основных пакетах, которые обеспечивают достижение поставленной в работе цели. Программным путем формируется совместная работа двух подсистем с целью получения расширенной информации о наличии препятствий и их удаленности.

На основе данных исследований был собран и испытан макет устройства, которое включает и автономный элемент питания на 5 В, в качестве которого может использоваться, на усмотрение пользователя, стандартный *Power Bank*, портативный блок питания, внешний аккумулятор.

Наличие трех ультразвуковых датчиков и двух видеокамер, а также микрокомп'ютера *Raspberry Pi 3* и микроконтроллера *STM8L* позволяет обеспечить квазистереоскопичность и панорамность «зрения», т.е. возможность определять наличие препятствий и

их удаленность, а также получить общую картину в поле «зрения» системы.

На основании анализа результатов исследований установлено, что, после определенного цикла тренировок, слабовидящий человек приобретает способность к лучшей ориентации в пространстве в пределах диаграммы направленности ультразвуковых датчиков и панорамы видеокамер, при этом автономность системы обеспечивается экономным энергопотреблением за счет применения разработанного алгоритма работы системы и современной энергоэффективной аппаратной части.

Список литературы

1. Ежегодно количество слепых в мире растет. URL: <https://www.unian.net/health/country/152550-ejagodno-kolichestvo-slepyih-v-mire-rastet.html> (дата обращения: 03.02.2020).
2. Elmannai W., Elleithy K. Sensor-based assistive devices for visually-impaired people: current status, challenges and future directions. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2017. 17 (3): pii: E565. Published online. doi: 10.3390/s17030565. PMID: 28287451.
3. Ершов С. О., Мейер П., Баки-Бородов Е. Л. Локальные и глобальные программно-аппаратные средства позиционирования и навигации для слепых. *Информатизация и связь*. 2011. № 1. С. 58–62.
4. Ong SK, Zhang J, Nee AY. Assistive obstacle detection and navigation devices for vision-impaired users. *Disability and rehabilitation. Assistive technology*. 2013. 8(5). 409-16. doi: 10.3109/17483107.2012.756946.
5. Cardin S., Thalmann D., Vexo F. Wearable obstacle detection system for visually impaired people. *Virtual Reality Laboratory (VRlab), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)*. CH-1015 Lausanne, Switzerland. @epfl.ch.
6. Ильясов Э. С. Вычисление расстояния до наблюдаемого объекта по изображениям со стереопары. *Молодой учёный. Международный научный журнал*. 2016. № 14 (118). С. 146–151.
7. Caraiman S., Zvoristeanu O., Burlacu A., Hergelegiu P. Stereo Vision Based Sensory Substitution for the Visually Impaired. *Sensors (Basel)*. 2019. 19(12). 2771. doi: 10.3390/s19122771.
8. Алтухов, В. Г. Колкер А. Б. Вычисление расстояния до объекта на основе карты глубин полученной методом зеркального разделения изображений. *Автоматика и программная инженерия*. 2017. №1 (19). С. 65–69.
9. Mahdi, Safaa A., Muhsin Asaad H., Al-Mosawi Ali I. Using ultrasonic sensor for blind and deaf persons combines voicealert and vibration properties. *Research Journal of Recent Sciences*. 2012. Vol. 1 (11). P. 50–52.
10. Попов Д. А., Костенко В. Л., Ядрова М. В., Кондратьев С. Б. Разработка мультисенсорного сонара для слепых на основе микроконтроллера STM8L. *Компьютерно-интегрированные технологии: освіта, наука, виробництво*. Луцьк. 2018. Вип. № 30–31. С. 126–131.
11. Ершов С. О., Майер П. Системы технического зрения с невизуальным представлением пространственной информации. *Известия вузов. Приборостроение*. 2008. Т. 51, № 1. С. 42–47. doi:10.1109/ICDSC.2007.4357528.
12. Brown FE, Sutton J, Yuen HM, Green D. [et al.]. A novel, wearable, electronic visual aid to assist those with reduced peripheral vision. *PLoS One*. 2019. 14(10). e0223755. doi: 10.1371/journal.pone.0223755.
13. Budrionis A, Plukynas D, Daniušis P, Indrulionis A. Smartphone-based computer vision travelling aids for blind and visually impaired individuals: A systematic review. *Assistive Technology*. 2020. 1–17. doi: 10.1080/10400435.2020.1743381.
14. Костенко В. Л., Кондратьев С. Б., Ядрова М. В., Попов Д. О. Энергоэффективная система панорамного ультразвукового обнаружения препятствий для слепых. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях»*. – Харків НТУ «ХПІ». 2018. №16 (1292). С. 47–56. doi:10.20998/2413-4295.2018.16.07.
15. Кондратьев С. Б., Сіроштан М. В., Костенко В. Л., Ядрова М. В. Комп'ютеризована система орієнтації для людей з вадами зору. *Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформація, культура, технології» ІКТ-2019*. Одеса: ОНПУ. 2019. С. 79–80.
16. Одноплатные компьютеры: обзор и сравнение моделей. URL: <https://my-multi.ru/android/odnoplattnye-kompyutery-obzor-i-sravnenie-modelei-odnoplattnye.html> (дата обращения: 03.02.2020).
17. Raspberry Pi – описание, установка ОС, настройка и аксессуары. URL: <https://www.terraelectronica.ru/pdf> (дата обращения: 01.03.2020).
18. PCA9685 – 16-канальный 12-битный PWM/Servo модуль с I2C интерфейсом. URL: <https://micro-pi.ru/pca9685-16-kanalnyy-rwm-servo-i2c> (дата обращения: 01.03.2020).
19. База изображений сравнения различных методов построения карты глубины. URL: <http://vision.middlebury.edu/stereo> (дата обращения: 01.02.2020).
20. Raspberry Pi 3: OpenCV + Python (#1) – установка библиотеки для использования с Python. URL: <http://codius.ru/articles> (дата обращения: 01.02.2020).

References (transliterated)

1. Ezhegodno kolichestvo slepyih v mire rastet [Every year, the number of blind people in the world is growing] Available at: <https://www.unian.net/health/country/152550-ejagodno-kolichestvo-slepyih-v-mire-rastet.html> (accessed 03.02.2020).
2. Elmannai W., Elleithy K. Sensor-based assistive devices for visually-impaired people: current status, challenges and future directions. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2017, 17 (3), pii: E565, Published online, doi: 10.3390/s17030565, PMID: 28287451.
3. Ershov S. O., Mayer P., Baki-Borodov E. L. Lokalnye i globalnye programmno-apparatnye sredstva pozitsionirovaniya i navigatsii dlya slepyih [Local and global positioning and navigation software and hardware for the blind], *Informatizatsiya i svyaz [Informatization and communication]*, 2011, no. 1, p. 58–62.
4. Ong SK, Zhang J, Nee AY. Assistive obstacle detection and navigation devices for vision-impaired users. *Disability and rehabilitation. Assistive technology*, 2013, 8 (5), 409-16, doi: 10.3109/17483107.2012.756946.
5. Cardin S., Thalmann D., Vexo F. Wearable obstacle detection system for visually impaired people. *Virtual Reality Laboratory (VRlab), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)*, CH-1015, Lausanne, Switzerland, @epfl.ch.
6. Ilyasov E. S. Vyichislenie rassstoyaniya do nablyudaemogo ob'ekta po izobrazheniyam so stereoparyi, *Molodoy*

- uchYoniy. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*, 2016, no. 14 (118), p. 146–151.
7. Caraiman S., Zvoristeanu O., Burlacu A., Hergelegiu P. Stereo Vision Based Sensory Substitution for the Visually Impaired. *Sensors (Basel)*, 2019, 19 (12), 2771, doi: 10.3390/s19122771.
 8. Altuhov V. G., Kolker A. B. Vyichislenie rasstoyaniya do ob'ekta na osnove kartyi glubin poluchennyi metodom zerkalnogo razdeleniya izobrazheniy [Calculation of the distance to the object based on the depth map obtained by mirror image division.] *Avtomatika i programnaya inzheneriya [Automation and software engineering]*, 2017, no. 1 (19), p. 65–69.
 9. Mahdi Safaa A., Muhsin Asaad H. Al-Mosawi Ali I. Using ultrasonic sensor for blind and deaf persons combines voicealert and vibration properties. *Research Journal of Recent Sciences*, 2012, Vol. 1 (11), p. 50–52.
 10. Popov D. A., Kostenko V. L., Yadrova M. V., Kondratev S. B. Razrabotka multisensornogo sonara dlya slepyih na osnove mikrokontrollera STM8L [Development of a multisensory sonar for the blind based on the STM8L microcontroller]. *Komp'yuterno Integrovani tehnologii: osvita, nauka, virobnitstvo [Computer-integrated technologies: education, science, production]*, 2018, no. 30–31, Lutsk, p. 126–131.
 11. Ershov S. O., Mayer P. Sistemyi tehnikeskogo zreniya s nevizualnyim predstavleniem prostranstvennoy informatsii [Vision systems with non-visual representation of spatial information]. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie [University News. Instrumentation]*, 2008, V. 51, no.1, p. 42–47, doi: 10.1109/ICDSC.2007.4357528.
 12. Brown FE, Sutton J, Yuen HM, Green D. [et al.]. A novel, wearable, electronic visual aid to assist those with reduced peripheral vision. *PLoS One*, 2019, 14 (10), e0223755, doi: 10.1371/journal.pone.0223755.
 13. Budrionis A, Plukynas D, Daniušis P, Indrulis A. Smartphone-based computer vision travelling aids for blind and visually impaired individuals: A systematic review. *Assistive Technology*, 2020, 1–17, doi: 10.1080/10400435.2020.1743381.
 14. Kostenko V. L., Kondratev S. B., Yadrova M. V., Popov D. A. Energoeffektivnaya sistema panoramnogo ultrazvukovogo obnaruzheni preyatstviy dlya slepyih [Energy-efficient panoramic ultrasonic obstacle detection system for the blind] *Visnik NTU «HPI». Seriya: «Novi rishennya v suchasni tehnologiyah» [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technologies]*, Harkiv NTU «HPI», 2018, no. 16 (1292), p. 47–56, doi:10.20998/2413-4295.2018.16.07.
 15. Kondratev S. B., Siroshstan M. V., Kostenko V. L., Yadrova M. V. Komp'yuterizovana sistema orientatsiyi dlya lyudey z vadami zoru [Computerized orientation system for the visually impaired]. *Materlali VII Mizhnarodnoyi naukovopraktichnoyi konferentsiyi «Informatsiya, Kultura, tehnologiyi» IKT 2019 [Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference "Information, Culture, Technology" ICT 2019]*, Odesa: ONPU, 2019, p. 79–80.
 16. Odnoplatnyie kompyuteryi: obzor i sravnenie modeley [Single-board computers: review and comparison of models]. Available at: <https://my-multi.ru/android/odnoplanye-kompyutery-obzor-i-sravnenie-modelei-odnoplanye.html> (accessed 03.02.2020).
 17. Raspberry Pi – opisanie, ustanovka OS, nastroyka i aksessuary [Raspberry Pi - description, OS installation, setup and accessories]. Available at: <https://www.tterraelectronica.ru/pdf> (accessed 01.03.2020).
 18. PCA9685 – 16-kanalnyy 12-bitnyy PWM/Servo modul s I2C interfeysom [PCA9685 - 16-channel 12-bit PWM/Servo module with I2C interface]. Available at: <https://micro-pi.ru/pca9685-16-kanalnyy-pwm-servo-i2c> (accessed 01.03.2020).
 19. Baza izobrazheniy sravneniya razlichnyih metodov postroyeniya kartyi glubiny [Database comparing different methods of constructing a depth map]. Available at: <http://vision.middlebury.edu/stereo> (accessed 01.02.2020).
 20. Raspberry Pi 3: OpenCV Python – ustanovka biblioteki dlya ispolzovaniya s Python [Raspberry Pi 3: OpenCV + Python (# 1) – installation of a library for use with Python]. Available at: <http://codius.ru/articles> (accessed 01.02.2020).

Сведения об авторах (About authors)

Костенко Виталий Леонидович – доктор технических наук, профессор, Одесский национальный политехнический университет, профессор кафедры металлорежущих станков, метрологии и сертификации; Одесса, Украина; ORCID: 0000-0002-8922-4232; e-mail: kv1777@ukr.net.

Vitaliy Kostenko – doctor of Technical Sciences, Professor, Odessa National Polytechnic University, department of Metal-cutting machines Metrology and Certification; Odessa, Ukraine; ORCID: 0000-0002-8922-4232; e-mail: kv1777@ukr.net.

Кондратьев Сергей Борисович – старший преподаватель, Одесский национальный политехнический университет, кафедра проектного обучения в информационных технологиях; Одесса, Украина; ORCID: 0000-0003-4975-5757; e-mail: kondratiev@opu.ua

Sergey Kondratyev – major teacher, Odessa National Polytechnic University, department of Project Training in Information Technology, Odessa, Ukraine; ORCID: 0000-0003-4975-5757; e-mail: kondratiev@opu.ua.

Ядрова Марина Васильевна – кандидат технических наук, доцент, Одесский национальный политехнический университет, доцент кафедры информационных систем, Одесса, Украина; ORCID: 0000-0001-7517-496X; e-mail: yadrova@opu.ua

Marina Yadrova – Associate Professor, Odessa National Polytechnic University, Department of Information Systems, Odessa, Ukraine; ORCID: 0000-0001-7517-496X; e-mail: yadrova@opu.ua

Стельмах Диана Евгеньевна – магистрант, Одесский национальный политехнический университет, кафедра информационных систем, Одесса, Украина; e-mail: rebeldi98@gmail.com

Diana Stelmakh – Graduate Student, Odessa National Polytechnic University, Department of Information Systems, Odessa, Ukraine; e-mail: rebeldi98@gmail.com

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Костенко В. Л., Кондратьев С. Б., Ядрова М. В., Стельмах Д. Е. Квазистереоскопическая система обнаружения препятствий для слепых на базе RASPBERRY PI 3 и STM8L. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 2 (4). С. 6 - 5. doi:10.20998/2413-4295.2020.02.09.

Please cite this article as:

Kostenko, V., Kondratyev, S., Yandrova, M., Stelmakh, D. Quasistereoscopic obstacle detection system for the blind on the basis RASPBERRY PI 3 and STM8L. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 2 (4), pp. 6 - 5, doi:10.20998/2413-4295.2020.02.09.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Костенко В. Л., Кондратьев С. Б., Ядрова М. В., Стельмах Д. Е. Квазістереоскопічна система виявлення перешкод для сліпих на базі RASPBERRY PI 3 і STM8L. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 2 (4). С. 6 - 5. doi:10.20998/2413-4295.2020.02.09.

АНОТАЦІЯ Розроблено квазістереоскопічну систему для виявлення перешкод для сліпих з підвищеною інформативністю. Підвищення інформативності здійснюється за рахунок застосування одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 3 і мікроконтролера STM8L. Підсистема панорамного ультразвукового виявлення дозволяє визначати наявність перешкод і їхню віддаленість за частотою проходження звукового сигналу, а підсистема створення тактильного рельєфу – за інтенсивністю тактильної інформації. У пристрої передбачена можливість комутації підсистем з джерелом живлення відповідно до режиму виявлення перешкод. За допомогою кнопки подачі живлення здійснюється відключення підсистеми створення тактильного рельєфу, струм споживання якої не менше 500 мА, зі збереженням роботи підсистеми ультразвукового виявлення перешкод, струм споживання якої не більше 20 мА, при цьому забезпечується економія заряду елемента автономного живлення, продовження терміну його роботи без підзарядки. Наведено результати розробки програмної моделі – алгоритм роботи системи, код програми побудови кадру з картою глибин у реальному часі, код програми роботи вібромоторів, модульні тести для тестування програмного коду підсистеми створення тактильного рельєфу. На основі даних досліджень був зібраний і випробуваний макет пристрою. Після певного циклу тренувань, слабовидюча людина набуває здатності до кращої орієнтації в просторі. Автономність системи забезпечується економним енергоспоживанням за рахунок застосування розробленого алгоритму роботи системи і сучасної енергоефективної апаратної частини.

Ключові слова: відеокамера; Raspberry Pi; ШІМ контролер; вібромотор; ультразвуковий датчик; карта глибин

Поступила (received) 08.05.2020